水稻節水栽培之可行性探討(二)
灌溉對水稻生產影響

◎農試所農藝組　陳榮坤 楊純明

一、前言

臺灣地區地狹人稠，水資源十分有限，以降雨(水)為主要來源，再輔以地下水源。然而，臺灣地區的雨量在時間及空間上的分佈卻極不平均，分別於南、北形成明顯的乾、濕季節，加上全球氣候快速變遷現象，使得近年來的降雨頻率更加紊亂而難以預測。此一結果，造成水資源管理部門對於水源利用與分配規劃上的困擾，也帶給工商業用水與農業用水相互競爭水源的窘境。而在農業用水當中，以水田灌溉用水為大宗，因此如何在維持穩定稻米生產前提下降低水田灌溉量，乃成為國內水資源利用的一大課題。

所謂『水稻節水栽培』，是指希望在有限的水源供應下獲取最大的稻作生產效(收)益所採行的栽培作法，亦可視為以最少用水發揮最大生產潛能的栽培體系。所以，提高水分使用效率與效能，既是目的，也是方法，其中心思想在於增進農業水資源的合理化利用。實施的策略上，在水資源有限的地區可以充分善用水源，在有限水源分配的地區則可以有效因應而妥善水源利用。如此一來，不但能夠緩解臺灣地區水資源有限度供給的緊迫性與不穩定性，更可進一步迎合國家經濟發展與社會民生的實務需求。

臺灣地區現行的水稻栽培係採用湛水栽培方式，在數個月的生育期間通常維持3-6公分的水深，需要不斷的灌水以補充稻株蒸散及水田蒸發的損失水量。此一作法套用於全部的栽培品種及不同土壤與氣象環境的地區，是一種齊頭式的平等，耗費了相當龐大的灌溉水量。其實，由於品種與土壤特性，水稻生育期間的需水量並非一致，各生育階段的水分需求也不盡相同，許多的灌溉水量是無謂的浪費。再者，水稻各品種在不同栽培環境下的田間需水量有所差異，多餘的灌溉徒然增加能源與成本支出，況且諸如灌溉調節、施肥、栽植密度等人為措施確實能夠提高水分使用效率，應該可以合併品種與土壤特性善加利用。

在二十一世紀的知識經濟時代，農業生產流程已大幅採用現代化科技，農業灌溉亦有必要實施精準的水源管理，力求水分利用效能與效益的提升。為期有助於農業研究人員深入試驗探討節水栽培技術與策略，瞭解可能的節水空間與節水栽培可行性，本文扼要整理及分析田間土壤水分狀態與稻株生產、生育環境間的關係，提供識者參考，使得以依照不同栽植條件做出最佳化的節水灌溉作業。

作　　者：陳助理研究員榮坤
聯絡電話: 04-23302301-144

二、稻之生產與水分需求

水稻生育期間對水分的需求量同時受到遺傳組成與環境變異影響，隨時空改變而不同，而各生育期進行的灌、排水措施除了影響稻株生長發育，最終並反映於產量與品質。欲精準管理稻田的灌溉水量，必須釐清各生育期的水分供應與稻株生長、產量及品質之間的關係，究明異常環境及不同缺水程度造成的負面作用，才能眞正達到立足點平等的最佳灌溉管理。此外，灌溉水量與頻率也會衝擊土壤的理化性質及肥力變化，經由田面的蒸發散量與濕度的轉變也將左右田間微氣候(象)，這些又可能導致病、蟲、草相的更迭及危害的輕重。因此，瞭解土壤水分狀態與稻株生產及生育環境間的關係，將可作爲節水栽培的重要依據。

在水稻栽培過程中，灌溉水量首在維持稻株生長的基本需要，以完成其生活史，獲得種子(稻穀)生產繁衍下一代。適當的供水不僅確保常態的生長與發育，更能保障生產潛力的發揮，得到最大的生產量和最佳的生產品質。本文現就水稻從秧苗移植後的成活期直至穀粒成熟的完熟期，將水分在不同生育期的生理意義及對生產的深遠影響作一摘要敘述，闡明研擬節水栽培技術之理論基礎。

1.水分供給與稻株生產關係

現行水稻的栽培係採秧苗移植而非種子直播形式，移植的秧苗難免切斷初建的根系，成活期的湛水狀態有利於受傷根部新根的促發，助其成活且無萎凋之虞。此外，湛水提供充沛的熱容量積蓄，具有緩衝一期作低溫寒害或二期作高溫熱浪危害秧苗的效果。適當深度的湛水亦可緩和風吹動搖導致秧苗倒伏而死亡的情形，增加秧苗的存活率，尤以低於絕大部份葉身之湛水高度爲最適宜。

水稻幼株建立後即進入分蘗期，此期間的灌溉水量只需提供稻株生長及分蘗即可，又因無倒伏顧慮，已無深度湛水需要。過度的湛水深度，反而容易抑制稻株分蘗及造成植株軟弱，降低對病蟲害的抵抗能力，或引起土壤通氣性的不良而不利於根系發育。在此根系發展能力最大的時期，理想的灌溉方式爲不湛水的土壤飽和狀態，讓根系充分的伸張擴展，尤其是接近地表土層根系的分佈較多，以吸收氧氣及土表下滲的養分。

介於分蘗後期至幼穗形成始期之間，稻株將由營養生長相(vegetative growth phase)進入生殖生長相(reproductive growth phase)，爲期使分蘗數的有效分蘗率達到最大，本時期可利用晒田方式阻斷稻株分蘗，讓多數分蘗成爲有效分蘗而提高生產潛力。此時期排水重於灌溉，適當的晒田將促進土壤通氣性及肥效，使根系往深層土壤伸長，擴大根系分佈範圍與增加根系活力，強化生殖生長相對養分與水分的吸收而助益於小穗花生成及穀粒充實。

稻株在幼穗形成期進行穎花和雌、雄蕊的分化，減數分裂旺盛，積極形成小孢子(胚珠、花粉等)。在此重要的生殖活動期，最容易遭受乾旱及低溫危害，因此需水量較高，爲水稻最需要灌溉的時期。若遭受斷水或乾旱致使養分與水分吸收受到限制，將使穎花分化受阻，幼穗形成困難，減少一穗穎花數(粒數)而降低產量。

當稻株進入孕穗期時，需要活力健旺

的根系吸收土壤營養元素，必須配合以通透性高的土壤氧氣供給，因此應予適當輪灌、排水，以維持土壤的通氣性及稻株生長。此時期的需水量較少，耐旱性強的品種在此段期間預期有較佳的生長表現。

一般稻株在抽穗開花期的葉面積達到全生育期的最大值，所以對水分的需求甚高，以滿足龐大的蒸散需求。若發生缺水狀態，將使得稔實率下降，一穗粒數減少。而原儲存於莖葉的碳水化合物，缺乏充足水分的溶解與移轉，將無法完全而順利的重新分配於稻穀之中，亦將不利於穀粒充實，對產量及米質均有負面影響。

乳熟期至糊熟期之間爲主要的穀粒充實階段，經由葉片光合作用生成的碳水化合物將移轉至穀粒中，以填滿稻穀容積。當土壤水分發生不足情況，在光合作用受阻之下，將未能填充一穗中全部的穗粒，不飽滿的穀粒將使得不正常米粒增加，嚴重減損產量與米質。本時期宜採多次而適量的灌溉，避免中等土壤缺水程度的發生。

當稻株邁向黃熟期至完熟期時，由於蒸散作用的降低，可逐步減少灌溉。惟在穀粒充實未完成前即貿然斷水，快速的缺水現象將造成穀粒充實不全，易形成輕米粒、胴裂米及心腹白米。反之，若仍然維持長期湛水，將延緩營養器官的老化，易發生充實延遲，增加青米粒而影響米質。

目前稻田的灌溉，除了分蘗後期的晒田、抽穗開花期前後的短期排水及接近完熟前的排水之外，通常多處於湛水狀態，消耗相當的灌溉水量。雖然湛水灌溉方法具有省工效果，減少灌溉次數及降低勞務成本，但是確實存在節水空間。然而如何節水，仍需要全盤探討各特定品種及其栽培條件而定。例如，輪灌做法雖可延續飽和土壤含水量而減少灌溉次數，卻因爲促進田面蒸發及土壤水壓，加速向下滲漏速率並提高滲漏量，反而增加水分在田區的消耗。

2.水分供給與稻穀產量關係

爲瞭解水稻栽培的節水幅(限)度，利用缺水逆境進行水稻生育及產量的影響評估，爲一良好的試驗方法。缺水對水稻生育的影響程度，取決於遭逢乾旱的生育時期、乾旱的嚴重程度、受到乾旱的時間長短及發生的頻率等因子。水稻的產量構成要素可歸納成穗數、一穗粒數、稔實率及千粒重等四項，產量與產量構成要素的關係爲一正相關。因此，可藉由這些因子對產量構成要素的影響，瞭解缺水逆境的作用及相對產量的變化。

稻株在營養生長期間主要進行植體的伸長並產生分蘗，故發生在分蘗前或分蘗期的乾旱(土壤缺水)將降低每叢分蘗數及穗數。嚴重的時候，將減少產量；而當乾旱即時解除時，或許可以經由增加一穗粒數或千粒重來彌補產量的損失。陳(1992)曾於水稻分蘗期間進行缺水試驗，當土壤水分張力因爲排水而提高至0.08 MPa時，產量將因分蘗數顯著降低而減少。又若在分蘗後期實施晒田工作，發現將可抑制無效分蘗，而減低營養元素的無謂消耗及穀粒充實期間同化物質的無效耗損，於是在提升有效分蘗數及穗數狀況下增加產量。

稻株對缺水逆境的反應在生殖生長相較營養生長相靈敏，尤以幼穗形成期及抽穗期對水分逆境的反應最爲敏感。幼穗形成期是穎花分化及每穗粒數決定的時期，

此時期的稻株生長狀態將影響一穗粒數及稔實率。Ofelia and O'Toole (1986)指出，花粉形成期間遭遇水分逆境的結果是稔實率的下降，也是導致產量降低的主要原因；而在減數分裂期間施予不同程度的水分逆境處理，稔實率有隨著劍葉水分潛勢降低而減少的趨勢。抽穗期包括穗軸抽出、外內穎開啓及授粉等過程，抽穗期的缺水將造成穗軸包覆在葉鞘中無法正常抽出，抑或即使穗軸抽出卻發生脫水及白化現象，或因抑制花藥開裂及花粉發芽而損害花粉稔實能力，最終因爲減低稔實率而使產量降低。

穀粒充實期間是光合產物急速累積並轉送到穀粒的時期，此時期的缺水將對充實率及千粒重造成嚴重影響。Rahman and Yoshida (1985)發現在水稻開花後第三天起，以田間容水量50%的水分處理至成熟期結束，產量將顯著減少16-20 %，其原因在於造成穀粒充實速率的降低，而非穀粒充實期間的長短。此外，此時期的缺水環境將導致光合作用受阻，稻株將提高抽穗前蓄存於稈葉中可以重新移轉分配至穀粒的光合產物量(Rahman and Yoshida, 1985)，而當缺水達一嚴重程度仍將減產。Yang *et al*. (2001)研究亦曾指出，穀粒充實期的輕微缺水處理，雖未嚴重抑制光合作用，但是將會促進稻株提早老化，並增加貯藏於稈葉中再分配的光合產物的量，使得穀粒充實加速進行。

不同生育時期缺水對產量所造成的影響，將因品種而異。De Datta *et al*. (1973)曾以30個水稻品種進行不同生育時期的缺水試驗，並依據營養生長相及生殖生長相遭遇缺水對產量的影響程度，將這些水稻品種區分爲三大群。可見各產量構成要素對不同水稻品種的產量貢獻比重不盡相同，於是乃根據產量構成要素佔有的份量將水稻品種歸類爲穗數型、穗重型及穗粒型等三種。所以，在維持稻作產量的前提下，水稻的節水栽培作法應以此三類型的特性，避開容易影響產量的生育時期進行節水作業，才可以得到較佳的預期結果。

3.水分供給與米質關係

米質主要由水稻品種的遺傳組成所控制，但是環境因素對某些米質性狀具有潛在的影響力；換言之，同一品種在不同的栽培環境下，其生產的稻米品質會有差異。Cheng *et al*. (2003)研究發現，實施節水栽培的水稻，節水處理與品種之間存在顯著交感，因此水分狀態對米質的影響將因品種而異。對於良質米而言，適當的節水處理有助於米質的提升，特別是米粒外觀及烹煮食味(cooking-eating quality)，並且有助於降低穀粒在不同小穗軸位置的米質差異。但對米質較差的品種來說，節水處理易增加小穗軸不同部位米粒外觀的差異，並影響烹煮食味品質。

藉由不同生育期的水分處理，也可以瞭解田間水分供給與米質間的關係。李等(1996)以 稻臺農67號、臺中189號及秈稻臺中秈10號爲試材，於分蘗期提早斷水晒田以減少穗數，結果發現不同品種間的米質對提早斷水晒田處理的敏感度有所差異。其中，臺中秈10號對提早斷水的反應較穩定，而臺農67號及臺中189號的反應則較敏感，米質有明顯差異。對一期稻作，提早於移植後36-40天斷水晒田，可以降低直鏈澱粉含量、降低胴裂米粒及屑米率；對於二期稻作，提早於移植後25-

28天斷水晒田，則可以提高完整米率及降低未熟粒。抽穗後約一個月的時間，當米粒持續增加重量期間遭遇缺水，將易導致稔實不良及輕粒、胴裂米、茶米的增加。而抽穗後過早的斷水，則易產生心白米、腹白米及胴裂米，影響米質。反之，抽穗後若長期湛水，將延遲充實，增加青米率。李等(1993)在臺中189號及臺中秈10號的穀粒充實期進行適當的減水灌溉，於土壤水分張力低於0.1 MPa下，稻穀的碾米品質、白米外觀、烹調及食用品質均未有不利影響，且有助於產量的提升。

三、結語

國內針對稻株水分狀態與水稻品種的遺傳表現，以及對於生產潛能發揮和米質影響的研究甚少。有關現行栽培稻種之節水栽培技術，適用於臺灣地區耐旱稻種之篩檢及其節水栽培策略的試驗亦不多見。目前農政部門正大力推行良質米的產銷，也十分關注農業灌溉用水的合理化，希望採行積極的水源精準管理作為。因此，為滿足各方對稻米品質需求及節約稻田水源運用的呼聲，農業試驗研究單位當加強水稻節水栽培體系的研究發展，及早提出具有經濟生產價值又符合當前國家節水政策的因應技術與策略。

綜合本文主題的整理與分析，謹做以下幾點可行建議供各界參採。首先，應當探討臺灣地區各主要栽培品種在不同生育時期及環境下對缺水逆境的反應，以瞭解缺水的影響機制並研擬各品種的因應解決之道。其次，釐清不同缺水變級對生長、發育、產量與米質的影響程度，作為調節灌溉水量的估算基礎與節水作業的規劃依據。最後，藉由實際不同灌溉處理對特定稻種生產與米質影響的結果，灌溉水量使用效能及經濟效益的綜合評估，擬定出最佳化的節水栽培技術與策略。除此之外，亦可從種原庫中篩檢出適當生產質量的耐旱性稻種，依照不同環境和栽培條件，由以上程序建立其特定的節水栽培技術與策略。然而，更重要的，是必須教育訓練農民朋友務必打破舊有的齊頭式灌溉觀念，在新的立足點平等理念與作法下重新建構最佳化的灌溉制度。

四、參考文獻

李健捀、宋勳、陳世雄。1996 。臺中區農業改良場研究彙報 51:31-39 。

李健捀、陳世雄、許愛娜、宋勳。1993 。臺中區農業改良場研究彙報 39:41-50 。

林孟輝。2001 。桃園區農業專訊35:23-24 。

張學琨。1967 。興農4:8-20 。

陳世雄。1992 。中華農藝2:169-181 。

盧守耕。1956 。稻作學。正中書局。台北市。

Cheng W., G. Zhang, G. Zhao, H. Yao and H. Xu 。2003 。Field Crops Res. 80:245-252.

Ofelia, S.N. and J.C. O'Toole 。1986 。Crop Sci. 26:317-321.

Rahman, M.S. and S. Yoshida 。1985 。Soil Sci. Plant Nutr. 31(4):497-511.

Yang J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu and W. Wang 。2001 。Field Crops Research. 71:47-55.